

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 25 NOV 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 49 948.2  
**Anmeldetag:** 24. Oktober 2003  
**Anmelder/Inhaber:** NUTRONIK GmbH, 63755 Alzenau/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung  
eines eine komplexe Oberflächenkontur  
aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall  
**IPC:** G 01 N 29/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Dzierzon

NUTRONIK GmbH  
Industriegebiet Süd E11

63755 Alzenau

5 **Beschreibung**

Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall

10

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

15

Aus dem Stand der Technik ist ein Verfahren zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall bekannt, wobei an einem herkömmlichen Mehrachsen-Prüfmanipulator ein oder mehrere Ultraschallgeber angeordnet sind, welche entlang einer geraden oder leicht gekrümmten Oberflächenkontur eines Bauteils zur Prüfung dieses verfahren werden. Zumindest ein Achsantrieb des Manipulators ist zur Erzeugung von Triggerimpulsen für eine Ultraschallsteuereinheit mit vorzugsweise einem optischen Encoder ausgestattet. Dieser Encoder ist jeweils einer Hauptachse wie X-Achse zugeordnet. Bei einer automatisierten Prüfung des Bauteils erzeugt der Encoder entsprechend der Bewegung des zugehörigen Achsantriebes äquidistante Impulse für einen Bewegungsvektor der angeschlossenen Achse. Die äquidistanten Impulse sind als Trigger zur geometrisch korrekten Zuordnung der Ultraschallmesswerte zum Prüfteil notwendig.

20

25

Eine Vorrichtung 10 mit Einachsen-Triggersystem nach dem Stand der Technik ist in Fig. 1 dargestellt. Die Vorrichtung 10 umfasst einen Mehrachsenmanipulator 12, wobei jeder Achse wie beispielsweise X-Achse, Y-Achse, Z-Achse sowie ggf. Drehachsen wie A-Achse oder B-Achse jeweils ein Antrieb MX, MY, MZ, MA, MB zugeordnet ist, welche über entsprechende Steuerkarten SX, SY, SZ, SA, SB über eine NC-Steuerung NCS ansteuerbar sind. Einer der Achsantriebe, im dargestellten Beispiel der Antrieb MX der X-Achse, ist mit einem Encoder E gekoppelt, welcher entsprechend der Bewegung des zugehörigen Achsantriebes äquidistante Impulse an ein Ultraschallsystem USS abgibt. Dabei werden die Triggerimpulse proportional dem Vorschub der linearen X-Achse erzeugt. Das Ultraschallsystem USS ist mit einem Steuerrechner SR gekoppelt, welcher wiederum mit der NC-Steuerung des Mehrfachmanipulators verbunden ist.

Wenn die Geometrie der Oberflächenkontur des zu prüfenden Bauteils in Haupt-Prüfrichtung komplex gekrümmt ist, kann mit einer Einachsen-Triggererzeugung keine ausreichende Genauigkeit der oberflächengetreuen Datenaufnahme gewährleistet werden. Oberflächengetreue Datenaufnahme bedeutet in diesem Sinne, dass ein äquidistantes Messpunktgitter auf der Oberfläche des Bauteils für die spätere Darstellung der Messergebnisse als fixiertes C-Bild zur Verfügung gestellt wird.

Davon ausgehend liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der zuvor genannten Art dahingehend weiterzuentwickeln, dass auch bei Bauteilen mit komplex gekrümmter Oberflächenkontur eine hohe Messgenauigkeit gewährleistet ist.

Das Problem wird u. a. verfahrensmäßig durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Grundgedanke des Verfahrens ist es, mit Hilfe eines bahnsynchron zu verfahrenen zusätzlichen Motors bzw. Antriebs mit angeschlossenem Encoder zur Erzeugung von Triggerimpulsen eine oberflächengetreue Messwertzuordnung auch bei Bauteilen mit komplex gekrümmten Oberflächenkonturen zu gewährleisten.

Hierbei ist vorgesehen, dass eine Vorausberechnung einer Oberflächenlinie, insbesondere deren Länge entsprechend einer manuell eingegebenen oder aus CAD-Daten übernommenen Geometrie des zu prüfenden Bauteils berechnet wird. Die Berechnung wird vorzugsweise in einem Steuerrechner des Ultraschallsystems durchgeführt. Ferner werden Stützpunkte des Mehrachsen-Manipulators zur Führung des Ultraschall-Prüfkopfsystems in definiertem Abstand entlang der Oberflächenkontur des Bauteils im Steuerrechner des Ultraschallsystems berechnet. Dabei wird beispielsweise eine mäanderförmige Messfahrt über die Oberflächenkontur des Bauteils durchgeführt.

Anschließend wird beim synchronisierten Verfahren der mehreren Antriebsachsen des Mehrachsen-Manipulators im Raum entlang der vorausberechneten und der NC-Steuerung übergebenen Stützpunkte der zusätzliche Motor als sogenannter Trigger-Antrieb bzw. Raumtrigger (virtuelle Achse) synchronisiert von der NC-Steuerung zusammen mit allen anderen im Eingriff befindlichen Achsantrieben entsprechend der vorausberechneten Oberflächenlinie verfahren. Durch das synchronisierte Verfahren der eigentlichen Bewegungsachsen zur exakten Führung des Ultraschall-Prüfkopfsystems in definiertem Abstand entlang der Oberflächenkontur des Bauteils und der Raumtriggerachse ist gewährleistet, dass die Raumtriggerachse die Oberflächenlinie fiktiv nachführt und somit äquidistante Impulse über den angeschlossenen Encoder an das Ultraschallsystem ausgibt.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zeichnet sich durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 7 aus. Zusätzlich zu den vorhandenen Achsantrieben des Mehrachsen-Manipulators wird eine weitere Achse bzw. ein Trigger-Antrieb definiert, d. h. ein an die NC-Steuerung angeschlossener Motor, welcher beim synchronisierten Verfahren der Achsantriebe des Mehrachsen-Manipulators im Raum entlang vorausberechneter Stützpunkte synchronisiert und von der NC-Steuerung zusammen mit allen anderen im Eingriff befindlichen Achsen entsprechend der vorausberechneten Oberflächenlinie verfahren wird, so dass gewährleistet ist, dass der Trigger-Antrieb die Oberflächenlinie fiktiv nachführt und somit äquidistante Impulse über den angeschlossenen Encoder an das Ultraschallsystem liefert.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination –, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

5

Es zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung zur Prüfung eines Bauteils mittels Ultraschall mit Einachsen-Triggersystem nach dem Stand der Technik,

10

Fig. 2 a, b Prinzipdarstellungen eines Manipulatorsystems,

Fig. 3 eine Anordnung zur Prüfung eines Bauteils mittels Ultraschall mit Raumgitter-Triggersystem und

15

Fig. 4 ein Flussdiagramm mit Ablaufschritten zur Durchführung des Verfahrens zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall.

20 Fig. 1 zeigt eine Anordnung 10 zur Prüfung eines eine Oberflächenkontur OK aufweisenden Bauteils BT mittels eines Einachsen-Triggersystems, welches in der Beschreibungseinleitung bereits ausführlich beschrieben wurde.

Die Fig. 2a) und b) zeigen zwei Ausführungsformen des Mehrachsen-Manipulators MM zur Führung eines Ultraschall-Prüfkopfsystems UPS in definiertem Abstand A entlang der Oberflächenkontur OK des Bauteils BK. Gemäß einer ersten Ausführungsform umfasst der Mehrachsen-Manipulator MM1 ein im Wesentlichen U-förmiges Gestell 12, welches bodenseitig entlang von Führungsschienen 14, 16 entlang einer ersten Achse wie X-Achse mittels eines Antriebs MX verfahrbar ist. Dabei umschließt das U-förmige Gestell beim Verfahren in X-Richtung im Wesentlichen das zu prüfende Bauteil BT. An vertikal verlaufenden Schenkeln 18, 20 des Gestells 12 sind entlang einer weiteren Achse wie Y-Achse verfahrbare Halteelemente 22, 24 angebracht, an denen das Ultraschall-Prüfkopfsystem

UPS befestigt ist. Ferner sind die Halteelemente 22, 24 entlang einer noch weiteren Achse wie Z-Achse, in Richtung auf das zu prüfende Bauteil BT zu und von diesem weg bewegbar. Ferner ist eine Rotation des Ultraschall-Prüfkopfsystems UPS um eine Längsachse wie A-Achse des Halteelementes 22, 24 möglich.

5

Ein in Fig. 2 b dargestellter Mehrachsen-Manipulator MM2 unterscheidet sich von dem in Fig. 2 a dargestellten Manipulator MM1 dadurch, dass die Halteelemente 22, 24 nicht an den vertikal verlaufenden Schenkeln 18, 20 des Gestells 12 angeordnet sind, sondern entlang einer Y-Achse eines oberen, horizontal verlaufenden Querträgers 26 verfahrbar sind. Ferner sind die Halteelemente 22, 24 entlang einer vertikal verlaufenden Z-Achse verfahrbar. Das Ultraschall-Prüfkopfsystem UPS ist zudem um eine A-Achse schwenkbar angeordnet. Optional ist vorgesehen, dass die Halteelemente 22, 24 um ihre Längsachse, im vorliegenden Fall um eine B-Achse, drehbar sind.

10

Fig. 3 zeigt eine Anordnung 28 zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur OK aufweisenden Bauteils BT mittels Ultraschall. Die Anordnung umfasst den Mehrachsen-Manipulator MM zur Führung des Ultraschall-Prüfkopfsystems UPS in definiertem Abstand A entlang der Oberflächenkontur OK des Bauteils BT. Der Mehrachsen-Manipulator MM umfasst die Antriebe MX, MY, MZ, MA, MB zum Antrieb der einzelnen Achsen wie X-Achse, Y-Achse, Z-Achse, A-Achse und B-Achse, welche über Steuerkarten SX, SY, SZ, SA, SB mit der Steuerung NCS gekoppelt sind. Gemäß der Erfindung ist ein weiterer Antrieb bzw. Motor MRT vorgesehen, der über eine Steuerkarte SRT mit der Steuerung NCS verbunden ist. Der Motor MRT ist mit einem Encoder E gekoppelt, der Triggersignale an ein Ultraschallsystem USS liefert, welches mit einem Steuerrechner SR verbunden ist, der wiederum mit der Steuerung des Mehrachsen-Manipulators NCS verbunden ist.

20

25

Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm des Verfahrens. In dem Steuerrechner für das Ultraschallsystem SR werden eine Oberflächenlinie OL, insbesondere deren Länge entsprechend von manuell eingegebenen oder aus CAD-Daten übernommenen Geometrie des zu prüfenden Bauteils BT berechnet (Schnitt S2). Anschließend erfolgt eine Vorausberechnung von Stützpunkten des Mehrachsen-Manipulators MM zur Führung des Ultraschall-

30

Prüfkopfsystems UPS in definiertem Abstand A (Schnitt S1). Diese Berechnung erfolgt ebenfalls im Steuerrechner SR des Ultraschall-Systems.

5 Vorzugsweise wird eine mäanderförmige Messfahrt über die Oberflächenkontur OK des Bauteils BT durchgeführt. Beim synchronen Verfahren der Achsen im Raum entlang der voraus berechneten und der Steuerung NCS übergebenen Stützpunkte wird der Raumtrigg-  
ermotor MRT, der als virtuelle Achse angesehen werden kann, synchronisiert von der NC-Steuerung NCS zusammen mit den anderen Achsen, welche sich im Eingriff befinden, entsprechend der vorausberechneten Oberflächenlinie OL verfahren (Schnitt S3). Durch  
10 das synchronisierte Verfahren der eigentlichen Bewegungsachsen, d. h. der X-, Y-, Z-, A- und B-Achsen zur exakten Führung des Ultraschall-Prüfkopfsystems UPS in definiertem Abstand A entlang der Oberfläche OK sowie durch Verfahren der Raumtriggerachse des Raumtriggemotors MRT ist gewährleistet, dass die Raumtriggerachse fiktiv die Oberflächenlinie OL nachführt (Schnitt S4) und somit äquidistante Impulse TI über den ange-  
15 schlossenen Encoder E an das Ultraschallsystem USS abgegeben werden (Schnitt S5).

Dadurch wird eine ausreichende Genauigkeit der oberflächengetreuen Datenaufnahme, d. h. ein äquidistantes Messpunktgitter an der Oberfläche des Bauteils für die spätere Darstellung der Messergebnisse als pixeliertes C-Bild gewährleistet.

20

## Patentansprüche

### 5 Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall

1. Verfahren zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur (OK) aufweisenden Bauteils (BT) mittels Ultraschall, wobei zumindest ein Ultraschallprüfkopf (UPK) mittels eines mehrere Achsantriebe (MX, MJ, MZ, MA, MB) aufweisenden Manipulators (MM) in mehreren Achsen mit definiertem Abstand (A) entlang der Oberflächenkontur (OK) des Bauteils (BT) geführt wird und wobei entsprechend der Bewegung zumindest eines Antriebs äquidistante Impulse als Triggersignale zur geometrisch korrekten Zuordnung von empfangenen Ultraschallmesswerten zur Oberflächenkontur (OK) des Bauteils erzeugt werden,

15 *d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,*  
dass die Achsantriebe (MX, MJ, MZ, MA, MB) des Manipulators (MM) entlang von vorbestimmten Stützpunkten synchron verfahren werden,

20 dass ein Trigger-Antrieb (MRT) synchronisiert mit den Achsantrieben (MX, MJ, MZ, MA, MB) angesteuert und zusammen mit allen im Eingriff befindlichen Achsantrieben entsprechend einer vorbestimmten die Oberflächenkontur (OK) wiedergebenden Oberflächenlinie (OL) verfahren wird und

25 dass der Trigger-Antrieb (MRT) bezogen auf die Oberflächenlinie (OL) der komplexen Oberflächenkontur äquidistante Triggerimpulse generiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

*d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,*

30 dass die Länge der Oberflächenlinie (OL) für jede individuelle lineare Messfahrt des Ultraschallprüfkopfes (UPK) entlang der Oberflächenkontur des zu prüfenden Bauteils berechnet wird.



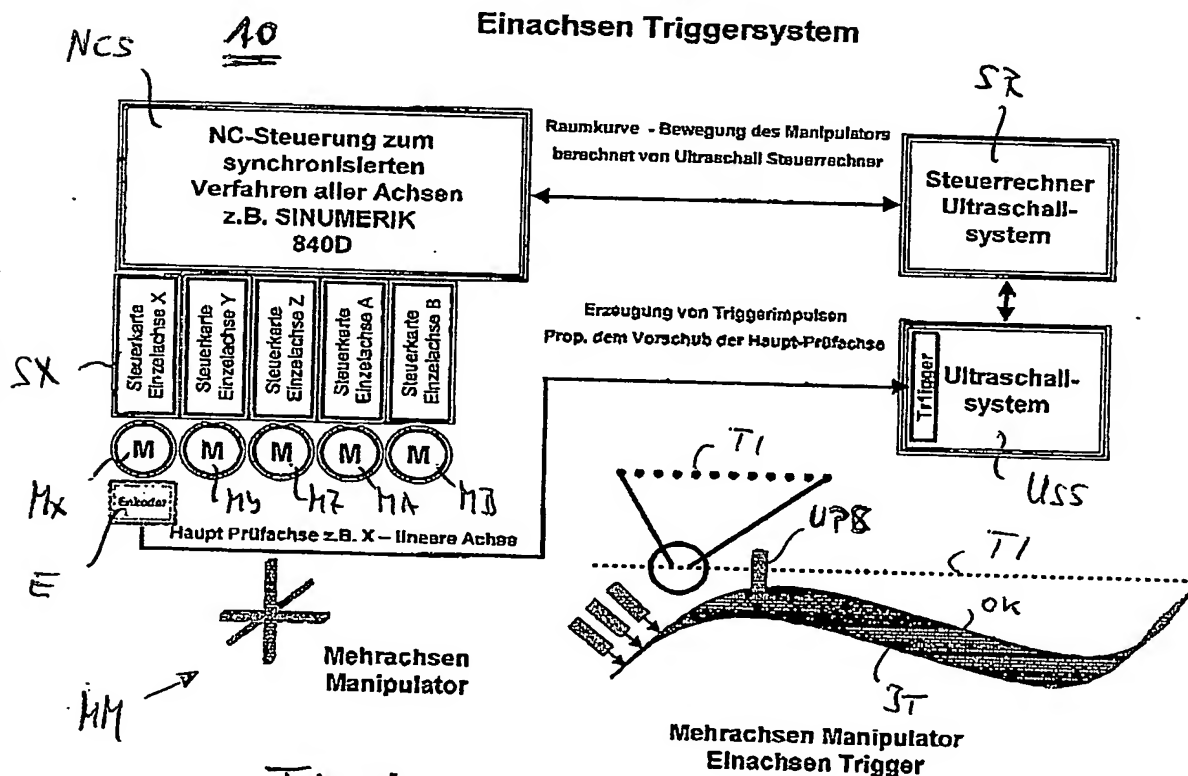
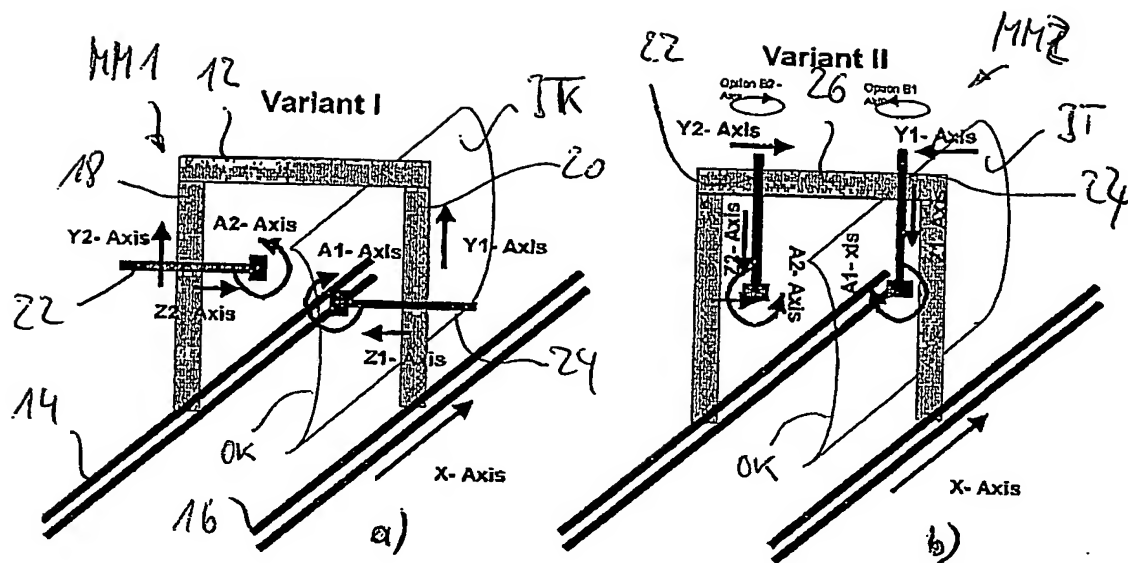
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Stützpunkte zur Realisierung einer mäanderförmigen Messfahrt entlang der  
Oberflächenkontur (OK) des zu prüfenden Bauteils berechnet werden.
4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Ansteuerung aller Achsantriebe (MX, MY, MZ, MA, MB) und des Trigger-  
Antriebes (MRT) durch eine NC-Steuerung durchgeführt wird.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Ultraschallprüfkopf (UPK) in definiertem Abstand A entlang der Oberflä-  
chenkontur bewegt wird.
6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Triggerimpulse für ein den Prüfkopf ansteuerndes Ultraschallgerät äquidis-  
tant entlang der Oberflächenlinie (OL) erzeugt werden.
7. Vorrichtung zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur (OK) aufweisen-  
den Bauteils (BT), umfassend einen mittels Achsantrieben (MX, MY, MZ, MA,  
MB) in einen oder mehreren Achsen verfahrbaren Manipulator (MM), mit dem  
zumindest ein Ultraschallprüfkopf (UPK) mit definiertem Abstand entlang der  
Oberflächenkontur (OK) des Bauteils (BT) verfahrbar ist, wobei die Achsantriebe  
mittels einer Steuerung (NCS) ansteuerbar sind und wobei zumindest ein Encoder  
(E) zur Erzeugung von Triggerimpulsen zur geometrisch korrekten Zuordnung von  
empfangenen Ultraschallmesswerten zur Oberflächenkontur des Bauteils vorgese-  
hen ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zusätzlich zu den Achsantrieben (MX, MY, MZ, MA, MB) ein Trigger-  
Antrieb (MRT) zur Erzeugung der Triggerimpulse vorgesehen ist,

5

dass der Trigger-Antrieb (MRT) synchronisiert mit den Achsantrieben des Manipulators (MM) ansteuerbar ist und zusammen mit allen im Eingriff befindlichen Achsantrieben entlang vorbestimmter Stützpunkte sowie einer vorberechneten Oberflächenlinie (OL) verfahrbar ist und

10

dass der Trigger-Antrieb (MRT) bezogen auf die Oberflächenlinie der komplexen Oberflächenstruktur äquidistante Triggerimpulse generiert.



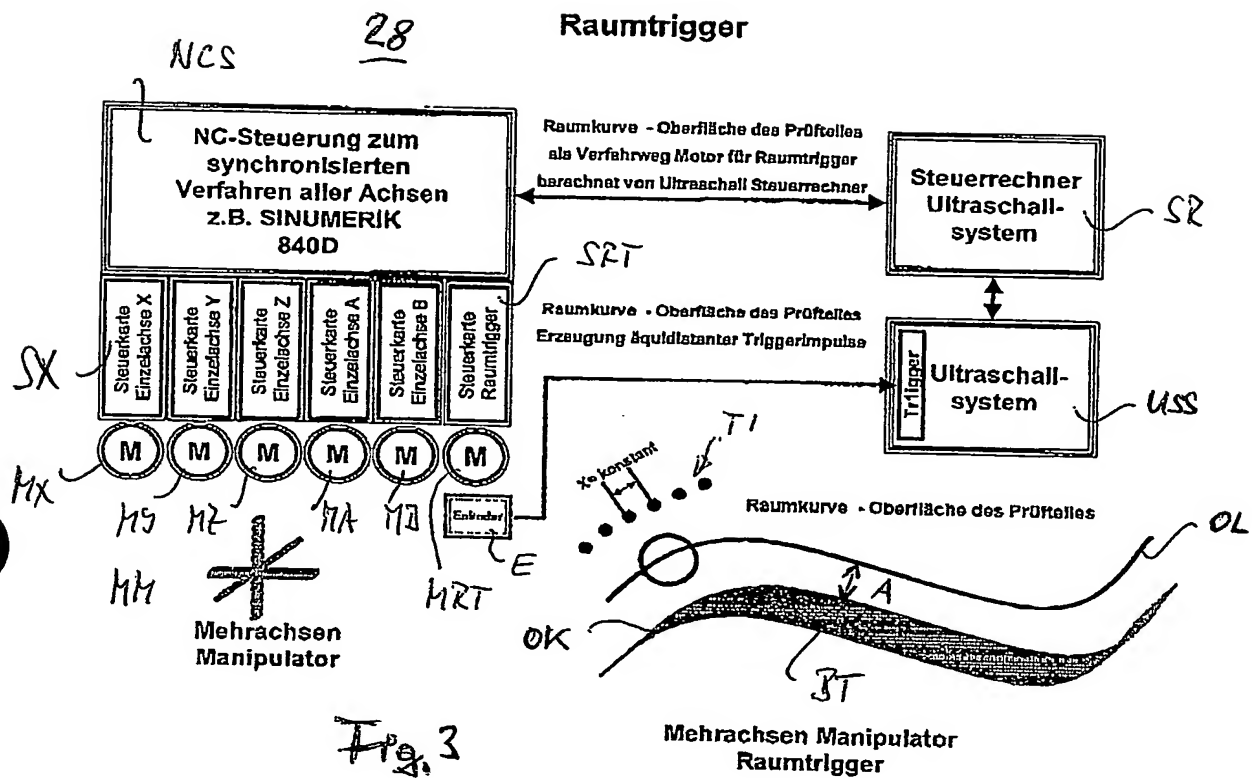


Fig. 3

### Flussdiagramm

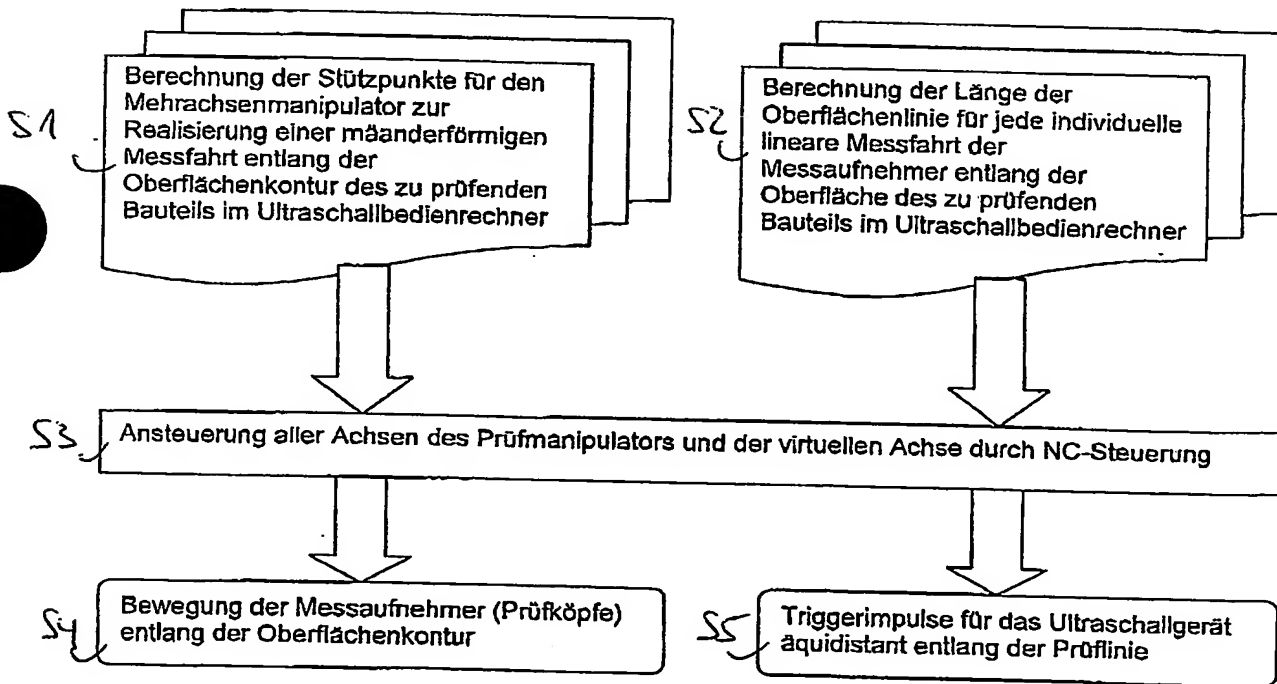


Fig. 4

## 5 Zusammenfassung

### Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall

10 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Prüfung eines eine komplexe Oberflächenkontur aufweisenden Bauteils mittels Ultraschall, wobei zumindest ein Ultraschallprüfkopf (UPK) mittels eines mehrere Achsantriebe (MX, MJ, MZ, MA, MB) aufweisenden Manipulators (MM) in mehreren Achsen mit definiertem Abstand (A) entlang der Oberflächenkontur (OK) des Bauteils (BT) geführt wird und wobei entsprechend der Bewegung zumindest eines Antriebs äquidistante Impulse als Triggersignale zur geometrisch korrekten Zuordnung von empfangenen Ultraschallmesswerten zur Oberflächenkontur (OK) des Bauteils erzeugt werden. Davon ausgehend liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der zuvor genannten Art dahingehend weiterzu-  
15 entwickeln, dass auch bei Bauteilen mit komplex gekrümmter Oberflächenkontur eine hohe Messgenauigkeit gewährleistet ist. Es ist vorgesehen, dass die Achsantriebe (MX, MJ, MZ, MA, MB) des Manipulators (MM) entlang von vorbestimmten Stützpunkten synchron verfahren werden, dass ein Trigger-Antrieb (MRT) synchronisiert mit den Achsantrieben (MX, MJ, MZ, MA, MB) angesteuert und zusammen mit allen im Eingriff befindlichen Achsantrieben entsprechend einer vorbestimmten die Oberflächenkontur (OK) wiedergebenden Oberflächenlinie (OL) verfahren wird und dass der Trigger-Antrieb (MRT) bezogen auf die Oberflächenlinie (OL) der komplexen Oberflächenkontur äquidistante Triggerimpulse generiert.

30 Fig. 3

